



# Desarrollo de un Robot Hexápodo para Tareas de Exploración

Charre Ibarra Saida Miriam✉, Landez Miranda Mario, Santiago María Rafael, Gudiño Lau Jorge, Alcalá Rodríguez Janeth Aurelia

Facultad de Ingeniería Electromecánica. Universidad de Colima.  
✉scharre@uacol.mx (corresponding author)

## Resumen

*La robótica ha presentado cada vez una mayor incorporación en las diferentes actividades diarias realizadas por el ser humano o las involucradas en los sistemas industriales, fortalecida con la evolución constante de la tecnología. El uso de la robótica se incrementa de manera considerable, resultando en ser la opción más conveniente especialmente en situaciones donde existe riesgo para el ser humano. En este artículo se presenta el diseño y construcción de un robot hexápodo con extremidades que le permiten llegar a lugares de difícil acceso, desplazándose por sitios irregulares para realizar tareas de exploración y búsqueda. Al robot se le instaló un sistema de visión para dirigir sus movimientos de forma remota, logrando inspeccionar áreas de difícil acceso o de riesgo para las personas.*

**Palabras clave:** Robot hexápodo, robótica móvil, exploración, sistema de locomoción

## Abstract

*Robotics has been increasingly incorporated into the different daily activities carried out by humans or those involved in industrial systems, strengthened by the constant evolution of technology. The use of robotics increases considerably, resulting in being the most convenient option especially in situations where there is risk for human beings. This article presents the design and construction of a hexapod robot has compliant wheeled-leg limb design that enables walking in complicated environments to perform exploration and search tasks. The robot was installed a vision system to control its movement remotely, inspecting areas that are difficult to access or are at risk to people.*

**Keywords:** hexapod robot, mobile robotics, exploration, locomotion system.

## 1. Introducción

El desarrollo de la ingeniería en las ramas de la mecánica, electrónica, informática y telecomunicaciones en el primer tercio del siglo XX, aunado con los avances en la computación, permiten la construcción de robots autónomos y modernos capaces de realizar tareas de gran complejidad. En 1938 la compañía Devilviss, construye el primer brazo articulado (o manipulador) para incorporarlo en la producción industrial en etapas de pintura al spray, donde antes era una tarea sólo realizada por personal humano. Durante la segunda guerra mundial se desarrolla un robot con dos brazos para manipular explosivos, el cual responde a las órdenes de un teleoperador humano.

Para el manejo de material radiactivo con teleoperación Goertz (1954) y Bergsland (1958) investigan sobre manipuladores mecánicos a control remoto. Se trata de un sistema amo-esclavo (*master-slave*), donde el robot reproduce los movimientos en tiempo real que un operador le transmite a distancia [1].

En 1989 Rodney Brooks del Mobile Robots Group del MIT (Massachusetts Institute of Technology) desarrolla un robot hexápodo llamado Genghis. Demostrando como los comportamientos complejos, como el rastreo, pueden obtenerse con una red de controladores simples y descentralizados (figura 1) [2].



**Figura 1. Robot Genghis. [2]**

También en 1993 el robot de ocho patas Dante, de la Carnegie-Mellon University intenta descender al interior del volcán Monte Erebus en la Antártida, fallando en la misión. La figura 2 muestra la versión mejorada del robot Dante II, construida un año después, logrando con éxito su misión estableciendo un hito para los robots móviles que han de trabajar en condiciones extremas [3].



**Figura 2. Robot Dante II. [3]**

El advenimiento de telemanipuladores inteligentes realizando distintas funciones en diferentes áreas como la medicina, la industria, el hogar, el entretenimiento e incluso en el ámbito militar, entre otras, ha incrementado la incorporación de la tecnología robótica en diferentes actividades del día a día, entregando grandes beneficios en tiempo y esfuerzo a las personas, principio básico de la robótica [4].

Los eventos relacionados con desastres naturales que ocurren en el mundo pueden suceder en cualquier momento, el personal de rescate cuenta con pocas horas para poder atender a las personas afectadas. En ese sentido los robots son la tecnología que complementa las labores de búsqueda, reconociendo el entorno sin representar peligros de nuevos desplomes o de lesiones para las víctimas o el mismo rescatista [5]. De la misma forma la robótica móvil se ha utilizado en la exploración de ubicaciones remotas y entornos hostiles, como los fondos marinos, en el espacio o en planetas y en centrales nucleares, entre otros [6].

Los robots hexápodos son más prácticos y flexibles en comparación con los humanoides y cuadrúpedos cuando se considera estabilidad, capacidad de balance y versatilidad [7][8][9][10]; logrando escalar obstáculos más grandes que un vehículo con ruedas, de hecho, el uso de ruedas u orugas limita el tamaño del obstáculo que se pueda escalar a la mitad del diámetro de las ruedas [6].

Por lo anterior, una de las finalidades de este trabajo fue desarrollar una propuesta de diseño para la estructura mecánica de un robot hexápodo manipulado de forma remota, capaz de trasladarse a través de terrenos irregulares para realizar tareas de exploración y búsqueda.

## 2. Locomoción del robot móvil

La locomoción hace referencia a la acción de trasladarse, capacidad inherente a una persona, un animal, un microorganismo, un aparato o máquina para moverse de un lugar a otro. Un robot hexápodo es un vehículo mecánico móvil que camina sobre seis patas. Suelen ser simétricos. Pertenecen a la familia de los robots “andadores o caminantes” en la cual también se encuentran los robots “saltadores, bípedos, trípedos y cuadrúpedos”.

El sistema de locomoción de un robot móvil está determinado especialmente por su peso, dado que éste afecta la movilidad y define la potencia de los motores necesaria para el desplazamiento. A su vez, el peso se encuentra determinado por las siguientes partes: chasis, motores, baterías y sistema electrónico. Cuando un robot se considera pesado es necesario realizar una selección adecuada de motores, elegir el material adecuado para el chasis y comenzar una dieta de alimentación [11].

La locomoción hexápoda puede ser de distribución radial, ver figura 3, en esta distribución no existe limitación del movimiento puesto que cualquier dirección es exactamente igual a cualquier otra, en dos dimensiones, esta distribución es totalmente simétrica, y eso lleva a un software más genérico y mucho más simple. También puede ser distribución bilateral, ver figura 4, ésta presenta una simetría a lo largo del eje longitudinal del robot, tiene como ventaja una mayor simplicidad a la hora de programar los movimientos del robot, debido a que el robot está preparado físicamente para facilitar el avance en direcciones paralelas al eje de simetría.

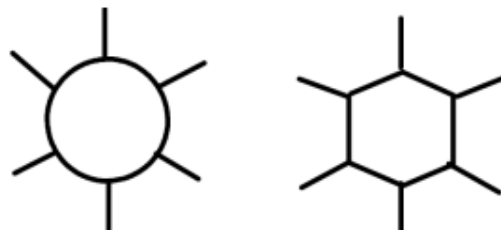


Figura 3. Configuración radial. [12]

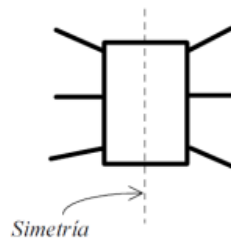


Figura 4. Configuración bilateral. [12]

El robot hexápodo se diseñó en configuración de tipo bilateral y los movimientos de locomoción son:

Movimiento de giro lateral derecho: La característica de este movimiento es que el robot mantiene las tres patas del lateral izquierdo en movimiento (giro de 360° de las extremidades), figura 5, mientras que las patas del lateral derecho se mantienen estáticas, obteniendo de esta forma que el robot gire hacia la derecha.

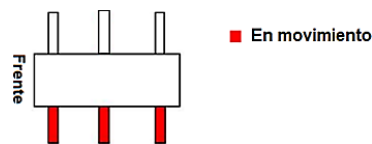


Figura 5. Esquema del robot donde se muestran las extremidades en movimiento para el giro lateral derecho.

Movimiento de giro lateral izquierdo: La característica de este movimiento es que el robot mantiene las tres patas del lateral izquierdo sin movimiento, figura 6, mientras que las patas del lateral derecho se mantienen en movimiento, obteniendo de esta forma que el robot gire a la izquierda.

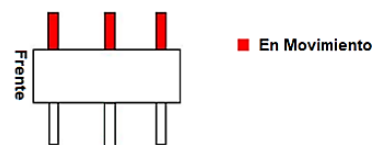


Figura 6. Esquema del robot donde se muestran las extremidades en movimiento para el giro lateral izquierdo.

Desplazamiento hacia adelante o hacia atrás: La característica de este movimiento es que el robot mantiene las seis patas, figura 7 en movimiento, obteniendo de esta forma que el robot avance de forma lineal hacia adelante o hacia atrás, dependiendo de la señal de control.

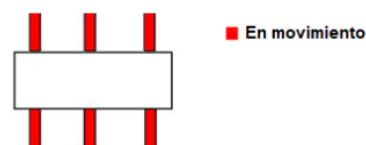


Figura 7. Esquema del robot donde se muestran las extremidades en movimiento para el desplazamiento hacia adelante o hacia atrás.

### 3. Diseño y construcción del robot

El robot RHex es de inspiración biológica, y fue inventado y caracterizado por primera vez a principios de siglo como parte de un gran consorcio financiado por DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency), donde participaron numerosas universidades de los Estados Unidos y Canadá (The University of Michigan, Ann Arbor, MI; McGill University, Montreal, Canada; Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA; University of California, Berkeley, CA; Princeton University, Princeton, NJ; Cornell University, Ithaca, NY).

A lo largo de estos años se han desarrollado nuevas versiones que han introducido más robustez física, mayor distancia al suelo, mayor par, sistemas de carga modulares, mayor ligereza, etc. Actualmente la familia de RHEX cuenta con 8 versiones, figura 8. Todas las plataformas RHex incluyen seis patas, cada una con un solo actuador giratorio en la cadera. Las piernas están diseñadas con materiales compatibles para producir pasos de carrera enérgicos. Los módulos de las patas se controlan desde una computadora central, que toma los comandos del usuario o la retroalimentación del sensor para decidir cómo deben moverse las patas [13].



Figura 8. Las ocho versiones del robot RHex. [13]

A continuación, sus nombres y descripción ordenados de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo.

**RHex:** Es el producto de un programa de DARPA de varios años que estudia la locomoción simple pero efectiva con patas.

**EduBot:** Es una variante modular y de pequeño tamaño cuyo objetivo es servir de herramienta para educación y la investigación.

**X-RHex:** Es la última versión de la plataforma RHex, diseñado para desplazarse con mayor fuerza, una mayor duración de sus baterías, y más movilidad y agilidad que las versiones anteriores.

**XRL:** Es una versión más ligera de X-RHex, diseñado para ser más ágil, manteniendo la misma separación piernas como el RHex, y contando con la misma arquitectura modular de carga útil.

**Desert RHex:** Fue desarrollado en 2009 para poder evaluar el desempeño de robots en terrenos desérticos montañosos.

**SandBot:** Es un desarrollo especial para estudiar la locomoción sobre suelo granular como la arena, la nieve, entre otras.

**Aqua:** Es la versión submarina del RHex.

**Rugged RHex:** Es una versión comercial robusta del robot RHex, producida por la empresa Boston Dynamics, en el año 2012.

El robot RHex, sirvió de referencia para el diseño del prototipo, sin embargo, el modelo de las patas del robot se cambiaron por un modelo *Triple Bended Crosswheels*, tomando como referencia el robot IONS (Indoor Outdoor Navigation and Surveillance), figura 9, robot cuadrúpedo que puede subir y bajar diferentes tipos y alturas de escaleras (hasta 18 cms). También puede trasladarse en ambientes interiores y exteriores. La interfaz del robot es mediante una página web controlada por Wi-Fi, bajo una red común para la comunicación robot y PC. El IONS pueden operar en varios niveles de velocidad y configuraciones [14].



Figura 9. Robot ION. [14]

Para el diseño de la estructura del robot, se elaboró un modelo en el programa de herramienta CAD: *Solid Works*®. En las Figuras 10, 11 y 12 se presentan las dimensiones que posee la estructura, en la vista frontal del prototipo se observa la ranura donde se ubicará la cámara para la función de visión que tendrá el robot.

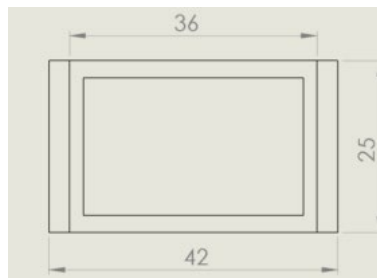


Figura 10. Vista superior de la estructura principal del prototipo (unidades en cm).

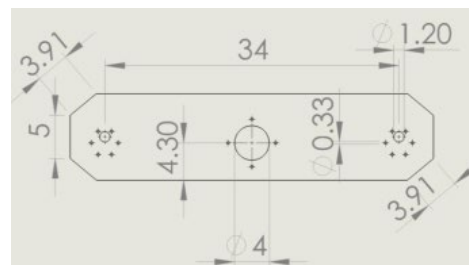
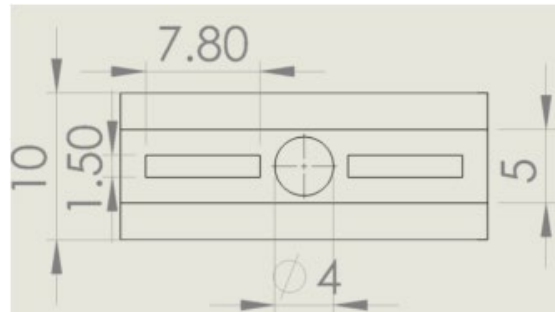
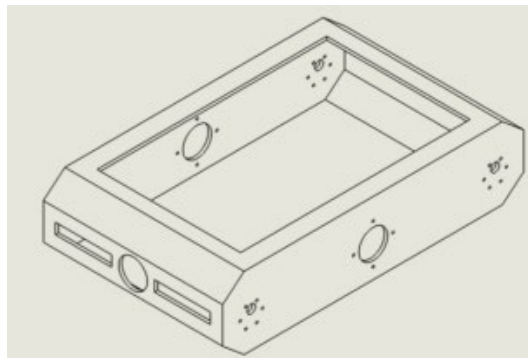


Figura 11. Vista lateral izquierda de la estructura principal del prototipo (unidades en cm).



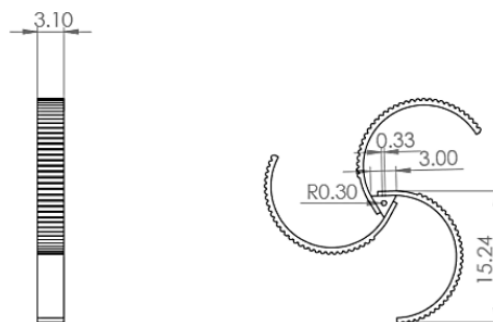
**Figura 12. Vista frontal de la estructura principal del prototipo (unidades en cm).**

En la Figura 13 se observa una vista isométrica del prototipo.



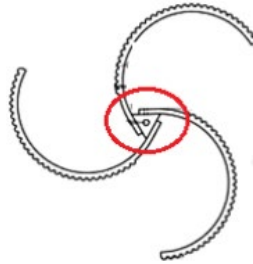
**Figura 13. Vista isométrica de la estructura principal del prototipo.**

Las extremidades del prototipo reciben el nombre de triple bended crosswheels, figura 14. Se eligieron este tipo de extremidades para obtener una mayor estabilidad del robot sobre superficies irregulares.



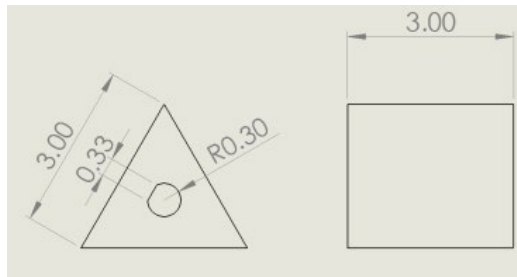
**Figura 14. Dimensiones de las extremidades (unidades en cm).**

Para unir las triples bended crosswheels se elaboraron seis coples triangulares. Además de unir cada una de las curvas, tienen la función de conectar todo el conjunto con los ejes de los motorreductores. En la Figura 15 se puede observar el cople de unión triangular.



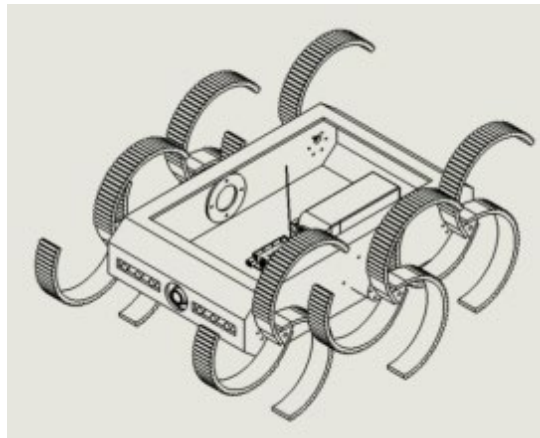
**Figura 15. Ubicación de los coples de unión triangulares.**

La figura 16 muestra las dimensiones de los coples de unión triangulares desde una vista frontal y lateral.



**Figura 16. Dimensiones de los coples triangulares (unidades en cm).**

El ensamble del robot se muestra en la figura 17, en la cual se aprecian en el interior del prototipo algunos componentes, tales como un transmisor TS5823 5.8G con su antena, un arduino mega 2560 y una batería litio 18650 12v.



**Figura 17. Vista isométrica del prototipo.**

Las figuras 18 y 19 presentan el modelo renderizado del robot.



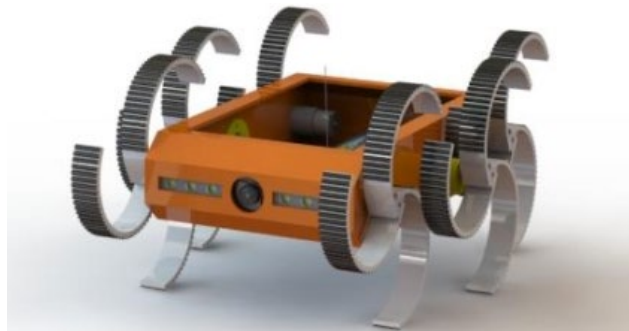


Figura 18. Modelo renderizado del prototipo vista isométrica.

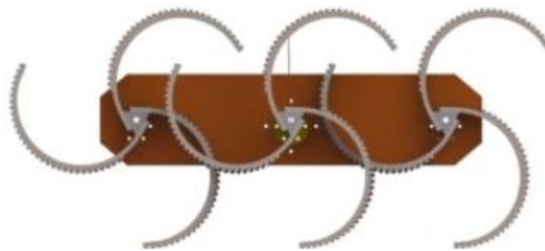


Figura 19. Modelo renderizado del prototipo vista lateral izquierda.

Las partes que conforman al robot se presentan en el diagrama a bloques de la figura 20, considerando las características y funciones que tendrá el prototipo. En él se observa que el microcontrolador está ubicado en el centro como el elemento que enviara las señales de control hacia los motores, que en conjunto con las extremidades del robot permitirán el desplazamiento del mismo, éstas señales se generaran a partir de las órdenes recibidas por el usuario, que poseerá un sistema de visión y enviadas mediante un control remoto.

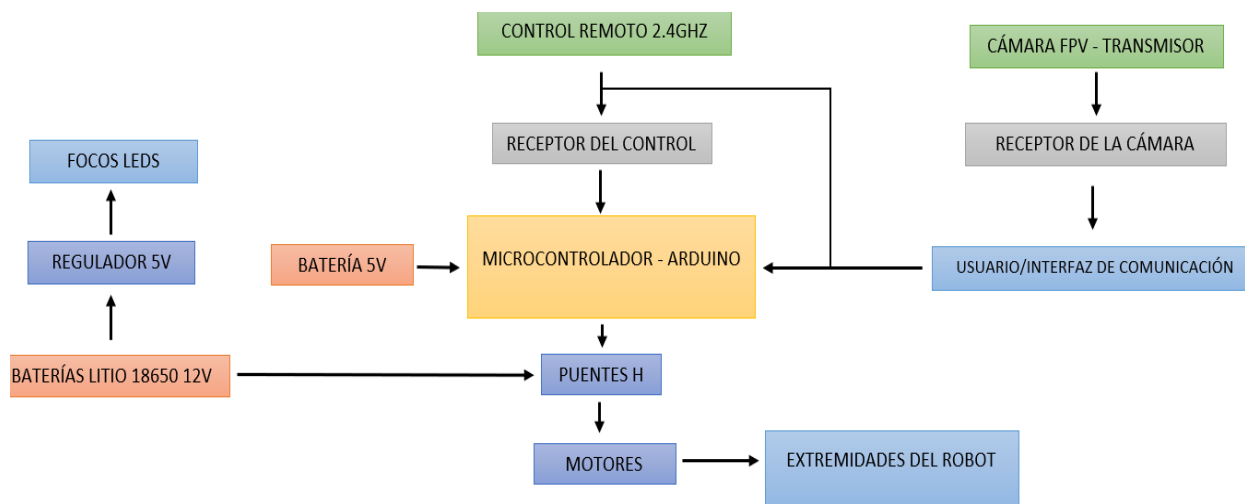
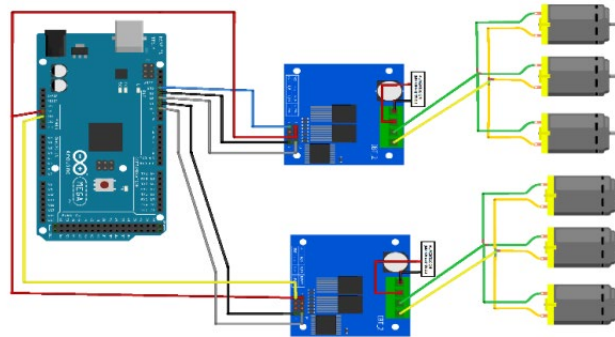


Figura 20. Diagrama a bloques del prototipo.

En la figura 21 se muestra el diagrama eléctrico del prototipo, donde se establecen las conexiones de los seis motorreductores de CD (Corriente Directa) 12 V 60 rpm que generan el movimiento de las extremidades del robot y el Microcontrolador Arduino Mega 2560, a través de los módulos puente H BTS 7960 43A.



**Figura 21. Diagrama de conexiones eléctricas.**

La energía es proporcionada por dos paquetes de baterías 18650 los cuales proveen 12 volts 6800 mA<sub>H</sub> que alimentan directamente a los puentes H y motores.

#### 4. Sistema de control y visión del robot

Para el control del prototipo se utiliza el radiocontrol Flysky modelo gt2b con su receptor conectado al Microcontrolador Arduino, figura 22.



**Figura 22. Partes del radiocontrol.**

Se programaron los cuatro movimientos del sistema de locomoción del robot móvil, cuando se presiona el gatillo del control hacia abajo, se gira a la derecha, los motores de las extremidades derechas del robot se desactivan y las del lado izquierdo quedan en funcionamiento, figura 23.

Cuando se tira del gatillo hacia delante, los motores de las extremidades izquierdas del robot se desactivan y las del lado derecho quedan en funcionamiento, figura 24.

Para el movimiento de traslación se asignó el volante del control. Cuando el volante se gira hacia adelante el robot acelerará hacia adelante y cuando se gire hacia atrás, el robot cambiará su sentido hacia atrás, figura 25.

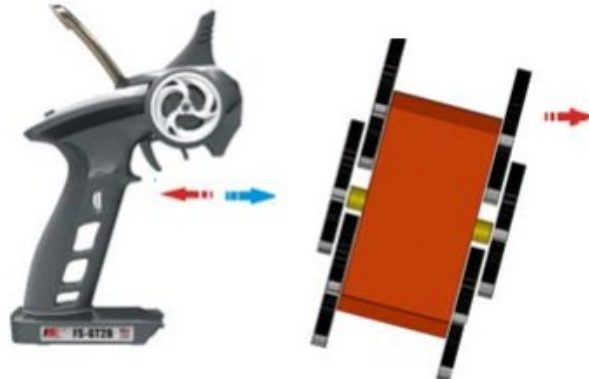


Figura 23. Movimiento lateral derecho.

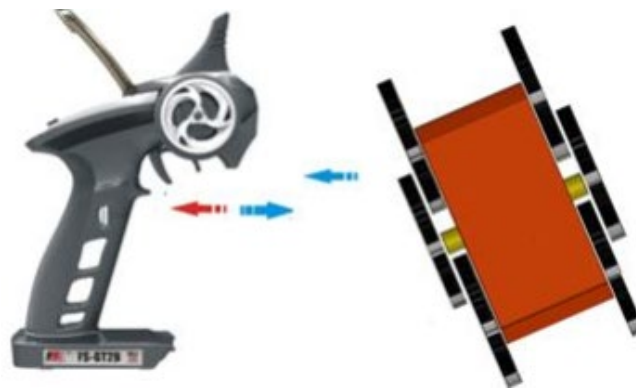


Figura 24. Movimiento lateral izquierdo.

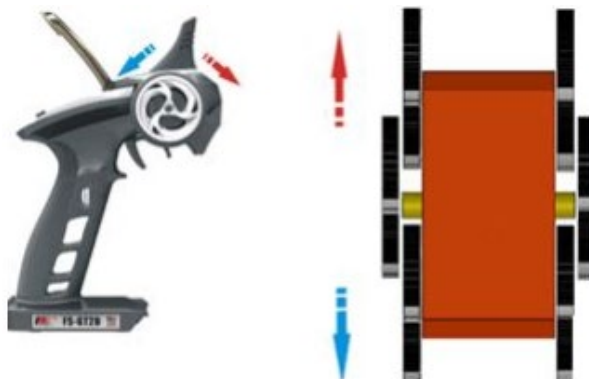


Figura 25. Movimiento lateral izquierdo.

Para la visión en el robot se utiliza una cámara GoPro modelo HERO3, un transmisor modelo TS5823 y receptor modelo TS353 RC 305, la señal de la cámara se transmite al receptor TS353 en la

frecuencia de 5.8G (figura 26), logrando visualizar en tiempo real el área por donde se desplaza el robot; la cámara tiene la función de conectarse a una red wifi, por lo que también permite visualizar el trayecto del prototipo con cualquier dispositivo de visión conectado a la red.



**Figura 26. Conexión de los componentes del sistema de visión.**

## 5. Resultados

Para la elaboración de la estructura externa del prototipo se utilizó alucobond, para las extremidades del robot se usó como material principal tubo hidráulico de plástico PVC de 6 in, los coples fueron elaborados con barra de aluminio aleación 6061 y maquinados en un torno, figura 27.



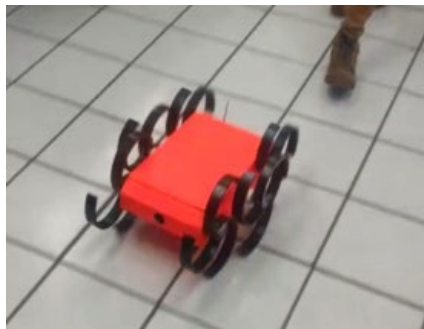
**Figura 27. Elaboración y maquinado de las partes de la estructura del prototipo.**

El robot realizó desplazamientos en diferentes tipos de superficies, guiado por las señales recibidas por el radio control, figura 28.

En cuanto el sistema de visión, utilizando la conexión wifi se observó el área explorada por el robot haciendo uso de un celular, dirigiéndolo de esta forma en tiempo real en todo momento, figura 29.

De la misma forma se estableció la comunicación del sistema de visión entre el robot y una computadora utilizando el transmisor y el receptor, figura 30.





a) En losetas de cerámica



b) En terracería



c) En césped



d) En grava suelta con pendiente



e) En escombros con pendiente



f) En arena

Figura 28. Desplazamiento del robot por superficies irregulares. [15]



Figura 29. Visión en tiempo real del robot con conexión Wi-Fi. [15]



**Figura 29. Visión en tiempo real del robot proyectado en un monitor**

## 6. Conclusiones

La constante evolución de la tecnología ha permitido que el campo de la robótica tenga un mayor auge en vida cotidiana y sobre todo en aplicaciones que involucran un riesgo para los humanos. Cada vez es mayor la inclusión de la robótica en tareas de exploración, ya sea como auxiliar en situaciones de desastres o de investigación por razones científicas.

El robot hexápodo desarrollado es capaz desplazarse en terrenos como pasto, pavimento, caminos de terracería, caminos rocosos y escombros, librando los obstáculos que pueda encontrarse en su camino gracias a sus patas de un grado de libertad con diseño Triple Bended Crosswheels. Se puede controlar el robot en un radio de 100 m utilizando el transmisor-receptor, pero esta distancia se supera cuando se utiliza la conexión del dispositivo de visión a la red. Los espacios por los cuales se desplaza el robot se pueden observar fácilmente mediante la cámara que tiene incluida, la cual sirve de visión para el operador. El robot tiene la facilidad para cambiar de dirección y sentido, así como la capacidad de trasladarse por planos inclinados.

Como trabajos futuros la arquitectura del prototipo puede escalarse utilizando tecnologías emergentes y de esta forma incrementar sus funciones y mejorar su desempeño.

## Referencias

- [1] Sánchez-Martín, F., Jiménez, P., Millán, F., Salvador-Bayarri, J., Monllau, V., Palou, J., & Villavicencio, H. *Historia de la robótica: de Arquitas de Tarento al Robot da Vinci (Parte II)*. Actas Urológicas Españolas, 31(3), 185-196(2007). Recuperado el 1 de diciembre de 2020, de [http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0210-48062007000300002&lng=es&tlng=es](http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0210-48062007000300002&lng=es&tlng=es).
- [2] *Robots, your guide to the word of robotics*, Institute of Electrical and Electronics Engineers, <https://robots.ieee.org/robots/genghis/>, 1 de diciembre de 2020.
- [3] *The Robotics Institute*, Carnegie Mellon University, <https://www.ri.cmu.edu/robot/dante-ii/>, 1 de diciembre de 2020.
- [4] Martínez S. *Modelado y Simulación de Robots Terrestres para la Inspección del Alcantarillado*. Universidad de Sevilla. 2018.



- [5] Solar M., Rodríguez H. & Peña C. *Desarrollo de un Robot Explorador Operado Mediante Neuroseñales*. Revista Politécnica. ISSN 2256-5353 (En línea), Volumen 10, Año 10, Número 19, páginas 125-134, Julio-Diciembre 2014.
- [6] Tedeschi F. & Carbone G. *Design Issues for hexapod Walking Robots*. Robotics ISSN 2218-6581, 3, 181-206; doi:10.3390/robotics3020181. 2014.
- [7] Deng H., Xin G., Zhong G. & Mistry M. *Object carrying of hexapod robots with integrated mechanism of leg and arm*. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. 54,145-155. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2017.11.014>. 2017.
- [8] Liu Y., Wang C. & Zhao J. *Research on the Posture Control Method of Hexapod Robot for Rugged Terrain*. Applied Sciences. 10, 6725, doi:10.3390/app10196725. 2020.
- [9] Tennakoon E., Kottege N., Peynot T., Roberts J. *Safe Terrain Probing Method for Multi-legged Robots Operating on Brittle Surfaces*. In: Xiao J., Kröger T., Khatib O. (eds) Proceedings of the 2018 International Symposium on Experimental Robotics. ISER 2018. Springer Proceedings in Advanced Robotics, vol 11. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-33950-0\\_27](https://doi.org/10.1007/978-3-030-33950-0_27). 2020.
- [10] Ariawan K., Santyadiputra G. & Sutaya I. *Design of Hexapod Robot Movement Based on Arduino Mega*. Journal of Physics: Conf. Series 1165 012011, doi:10.1088/1742-6596/1165/1/012011. 2019.
- [11] Bermúdez G. *Robots Móviles*. Tecnura. ISSN 2248-7638. Vol. 5 Núm. 10. Enero-Junio 2002.
- [12] Baturone A. *Robótica - Manipuladores y robots móviles*. Marcombo, México, 2005.
- [13] *The Rhex Hexapedal Robot*, KOD\*LAB, [The RHex Hexapedal Robot – Kod\\*lab \(upenn.edu\)](http://TheRHexHexapedalRobot-Kod*lab.upenn.edu), 3 de diciembre de 2020.
- [14] Agrawal S., Dagale H., Mohan N. & Umanand L. *IONS: A Quadruped Robot for Multi-terrain Applications*. International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing, Vol. 4, No. 1, February 2016.
- [15] Charre S., Landez M., Santiago R., Gudiño J., Alcalá J. *Robot Hexápodo*, Facultad de Ingeniería Electromecánica, Universidad de Colima, <https://youtu.be/Mw9yJdpIOVM> <https://www.ri.cmu.edu/robot/dante-ii/>, 15 de diciembre de 2020.

## Autores

**Autor 1.** Charre Ibarra Saida Miriam. Obtuvo la Maestría en Ingeniería Electrónica especialidad Instrumentación y Control en el Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán en el 2006. Profesora Investigadora de Tiempo Completo en la Facultad de Ingeniería Electromecánica de la Universidad de Colima. Miembro del CA UCOL-CA 21 Sistemas Mecatrónicos y Eléctricos en la línea de investigación Control de Sistemas Mecatrónicos. Áreas de interés Electrónica, Instrumentación virtual y Control Difuso. E-mail [scharre@ucol.mx](mailto:scharre@ucol.mx).

**Autor 2.** Landez Miranda Mario. Estudiante de 9° semestre de la carrera Ingeniero en Mecatrónica en la Facultad de Ingeniería Electromecánica de la Universidad de Colima.

**Autor 3.** Santiago María Rafael. Estudiante de 9° semestre de la carrera Ingeniero en Mecatrónica en la Facultad de Ingeniería Electromecánica de la Universidad de Colima.

**Autor 4.** Gudiño Lau Jorge. Estudió el Doctorado en el Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México en el 2004. Profesor-investigador de Tiempo Completo de la Facultad de Ingeniería Electromecánica de la Universidad de Colima. Su principal interés de investigación es en el área de robótica, mecatrónica y control: control de robots cooperativos, control de fuerza, teleoperación, softrobots, interfaces hápticas, exoesqueletos, control por visión, entre otros. E-mail: [jglau@ucol.mx](mailto:jglau@ucol.mx).

**Autor 5.** Alcalá Rodríguez Janeth Aurelia. Obtuvo en 2004 el título de Maestra en Ciencias en Ingeniería Electrónica por la Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Cuernavaca, Morelos. Desarrollo sus estudios de doctorado en el Centro de Investigación y Estudios de Posgrado de la



Facultad de Ingeniería (CIEP-FI) de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí y obtuvo el título de Doctora en Ingeniería Eléctrica con especialidad en Electrónica de potencia en 2012. Está adscrita como Profesora-Investigadora a la Facultad de Ingeniería Electromecánica en la Universidad de Colima. Ha publicado diversos trabajos en revistas nacionales e internacionales, en las que participa además como revisora. Sus principales intereses se centran en el estudio de convertidores de potencia, calidad de la energía y sistemas de generación de energía a partir de fuentes no convencionales.